

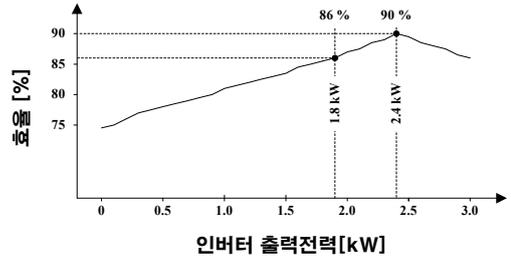
최대효율점 추종 알고리즘을 이용한 태양광발전시스템의 효율 개선

권철순, 강필순
한밭대학교

Maximum Efficiency Point Tracking Algorithm for improving efficiency of Photovoltaic power generating system

Cheol soon Kwon, Feel-soon Kang
Hanbat National University

Abstract - 본 논문에서는 대용량의 계통연계형 태양광발전시스템의 효율 개선을 위한 제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 태양전지로부터 생산되는 전체 전력량을 모니터링 하여 최대 효율 조건에서 동작할 수 있도록 구동시킬 인버터 수와 각 인버터가 담당할 전력량을 결정하고 이에 따른 태양전지의 직병렬 결합 조건이 가능하도록 태양전지의 배열을 릴레이 접점으로 재구성하는 방식이다. 제안된 알고리즘의 타당성 검증을 위해 LabVIEW 기반의 제어시스템을 구성하고 분석한다.



〈그림 1〉 임의의 태양광 인버터 효율 곡선

1. 서 론

최근 일본의 후쿠시마 원자력 사태와 국내 고리 원자력의 안정성 문제가 이슈화 되면서 안정성이 확보된 신재생 에너지 보급에 대한 중요성이 강조되고 있다. 태양광 발전은 무한·청정 에너지원으로서 충분한 안정성이 확보되어 있으며, 현재 대용량 발전이 가능한 대단위의 태양광 발전소가 다수 건립되고 있다. 그러나 대용량 태양광발전 단지의 효율적인 육성을 위해서는 설치비용, 설치면적, 발전효율에 대한 문제가 해결되어야 한다.

태양광발전시스템은 계통 연계 방법에 따라 Module Inverter, String Inverter, Central Inverter 방식으로 구분된다. String Inverter 방식은 PV 어레이에 직렬로 연결되는 하나의 인버터를 통하여 계통에 연결되는 방식이며, PV 어레이를 증가시킴으로써 직류 전원의 크기를 쉽게 늘릴 수 있다. 또한 MPPT (Maximum Power Point Tracking) 제어를 통해 최대 출력점에서의 전력 공급이 가능하다. 하지만 직렬 결합된 PV 어레이에 문제가 발생할 경우, 발전이 정지되는 단점과 대용량, 고효율 인버터 사용에 따른 인버터 가격 상승의 문제가 발생한다 [1]. Central Inverter 방식은 String Inverter 방식의 확장형으로서 PV 어레이 여러개가 병렬로 연결되어 있고 그 병렬로 연결된 출력부분에 인버터를 설치하여 계통과 연계하는 방식으로 발전 용량을 증가시키기에 용이하지만 MPPT 제어가 불가능하다는 단점이 있다 [2]. Module Inverter 방식은 각 PV 모듈 당 하나의 인버터가 연결되어있는 구조로써 분산, 소용량 발전 전력을 계통에 연계시키기에 적합한 구조이지만 PV 모듈을 추가하여 직렬 또는 병렬 결합시켜 각 인버터에 연계하여 계통에 투입함으로써 발전 전력량을 늘림과 동시에 MPPT 제어가 가능하도록 구성할 수 있어 대용량 태양광 발전 설비에 적용 가능하다.

본 논문에서는 Module Inverter 방식의 대용량 태양광 발전 설비에서 발전 효율을 개선시킬 수 있는 제어 알고리즘을 제시하고 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증하고자 한다.

2. 최대 효율점 추종 알고리즘

일반적으로 태양광발전시스템에서 사용되는 인버터는 출력 상태에 따라 부하 전류량이 변화하며 이에 따라 효율 특성이 변화된다. 그림 1은 최대 출력 3 kW로 가정된 임의의 태양광 인버터의 효율 곡선이다. 이 그래프에서 인버터는 2.4 kW 출력에서 90%의 최대 효율 동작점을 가짐을 알 수 있다. 만약 동일한 효율특성의 인버터 다섯 대가 Module Inverter 방식으로 결합되어 있고 총 발전 전력량이 9 kW 상태라면 다섯 대의 인버터는 모두 1.8 kW의 동일한 출력을 계통으로 전달하게 된다. 이 경우 그림 1의 효율곡선에서 각 인버터는 86%의 동일한 효율점에서 동작하게 되고, 다섯 대의 인버터 평균 효율은 86%가 된다.

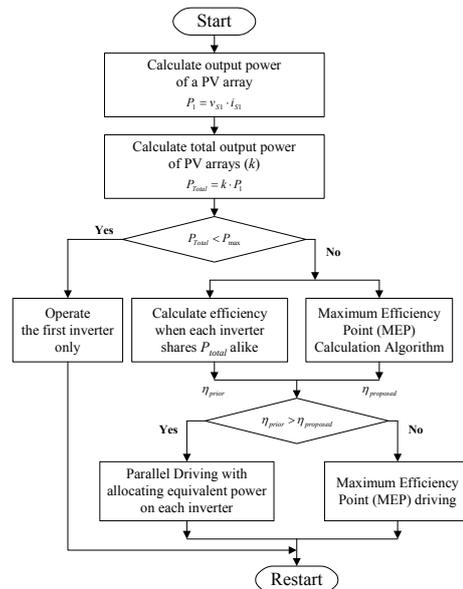
동일한 조건에서 제안하는 알고리즘은 최대 효율점에서 동작할 수 있는 세 대의 인버터에 2.4 kW 씩의 전력을 연계시키고 한 대의 인버터에 1.8 kW를 연계하여 총 9 kW의 출력을 담당하게 하며, 나머지 한 대의 인버터는 동작을 중지시킨다. 이 경우 최대 효율점에서 동작하는 세 대의 인버터의 평균 효율은 90%가 되고, 나머지 한 대는 86%가 되어 최종 효율은 88%로 2%가 상승하게 된다. 비록 2%의 작은 값의 효율 상승으로 보이지만 1 MW급의 태양광발전설비라고 할 경우 20 kW의 효율 상승을 기대할 수 있는 큰 값을 알 수 있다.

제안하는 알고리즘을 적용하기 위해서는 태양광 인버터의 효율 특성에 대한 데이터를 확보해야 한다는 전제 조건을 가진다. 그림 2는 제안된 알고리즘의 메인 플로 차트를 보여준다. 먼저 하나의 PV 어레이의 전압과 전류로부터 출력전력을 계산한다.

$$P_1 = v_{s1} \cdot i_{s1} \tag{1}$$

여기서 P_1 은 PV 어레이의 출력 전력, v_{s1} 은 PV 어레이 전압, i_{s1} 은 전류를 나타낸다. PV 어레이의 개수가 k 개 인 경우 식 (2)에 의해 전체 PV 어레이의 출력을 계산한다.

$$P_{total} = k \cdot P_1 \tag{2}$$

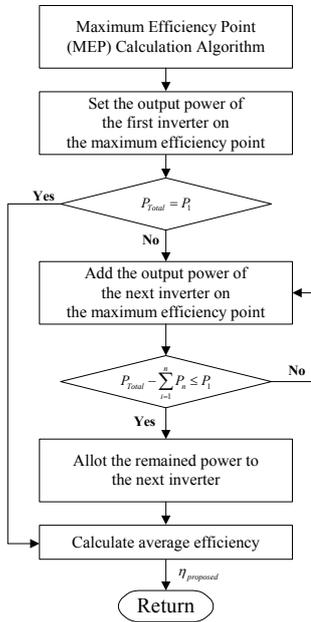


〈그림 2〉 최대 효율점 추종을 위한 메인 플로 차트

다음으로 전체 PV 출력전력을 PV 인버터의 최대 출력과 비교한다. PV 어레이의 출력이 PV 인버터의 최대 출력보다 작을 경우 하나의 인버터만으로 요구하는 출력을 계통에 연계할 수 있기 때문에 첫 번째 인버터만 동작시킨다. PV 어레이의 최종 출력이 PV 인버터의 최대 출력보다 클 경우에는 기존의 병렬 운전과 제안된 최대효율점 동작 알고리

즘을 통해 평균 효율을 계산한다. 기존의 병렬 운전 방법은 식 (3)과 같이 전체 출력(P_{total})을 인버터의 대수(N)로 나눈 동일한 값(P_N)을 각 인버터가 계통으로 투입할 경우의 인버터 효율을 구하게 된다.

$$P_N = \frac{P_{total}}{N} \quad (3)$$



<그림 3> MEPT 알고리즘 루틴

그림 3은 최대 효율점 추종 알고리즘의 서브루틴의 흐름도를 보여준다. 제안하는 알고리즘은 전체 PV 어레이의 출력을 인버터의 개수만큼 나누어 동일한 전력을 인버터에 분배하지 않고 인버터가 최대 효율로 동작할 수 있는 동작점을 찾아 인버터의 출력과 동작 대수를 결정한다. 먼저 첫 번째 인버터에 인버터의 최대 효율점에 해당하는 전력을 할당하고 PV 어레이의 발전전력과 동일한 경우 서브루틴을 종료하고 메인 루틴으로 돌아간다. 만약 첫 번째 인버터가 최대 효율점에서 동작하도록 설정하고 남은 전력이 있다면 식 (4)에 따라 모든 발전전력이 인버터에 할당되도록 한다. 마지막으로 남은 발전전력을 다음 인버터에 할당하고 최종 평균 효율을 계산한 후 서브루틴을 종료한다.

$$P_{total} - \sum_{i=1}^n P_n \leq P_1 \quad (4)$$

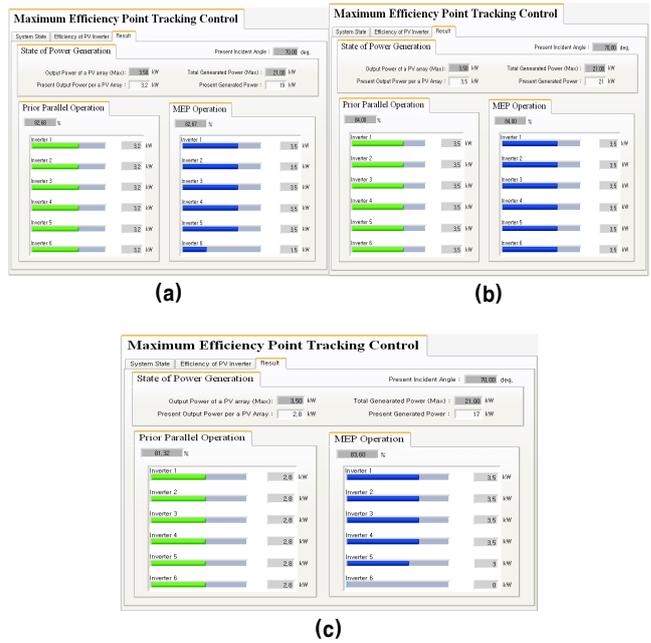
두 루틴에 의해 계산된 평균 효율을 비교하여 우수한 효율 상태를 선택하여 PV 어레이의 결합 조건을 변경하고 해당 인버터를 동작시킨다.

3. 시뮬레이션

제안된 MEPT(Maximum Efficiency Point Tracking) 알고리즘을 검증하기 위해 LabVIEW 기반의 제어기를 구성하고 시뮬레이션을 통해 검증한다. 그림 3(a)는 태양광발전시스템의 메인 프론트 패널이며 시간대별 태양 입사각, PV 어레이 발전량 정보를 제공하며, 그림 3(b)는 시간대별 태양 입사각과 부하조건에 따른 인버터의 효율 그래프를 보여준다. 시뮬레이션에서는 6대의 최대 출력 5 kW 인버터를 사용하며, 이 인버터는 3.5 kW 동작시 최대 효율 84%를 가지는 조건이다.



<그림 4> MEPT 프론트패널



<그림 5> 효율 비교를 통한 운전 방법 선택 (a) 병렬구동>MEPT, (b) 병렬구동=MEPT, (c) 병렬구동<MEPT

그림 5는 제안된 알고리즘을 세 가지의 다른 발전 상태에서 운전시킨 결과를 보여준다. PV 어레이의 발전 가능한 최대 전력은 21 kW이며 그림 5(a)는 PV 어레이의 발전 전력이 19 kW인 경우로 병렬구동시에는 여섯 대의 인버터에 각각 3.2 kW의 전력이 할당되어 인버터는 82.68%의 평균효율을 갖는다. 반면 MEPT에 의해서는 다섯 대의 인버터에 각각 3.5 kW의 전력이 할당되고 한 대의 인버터에 1.5 kW가 할당되어 평균효율이 82.67%가 되므로 병렬구동 방식에 의해 운전된다. 그림 5(b)는 발전전력이 21 kW인 경우로 병렬구동과 MEPT 방식이 동일하게 각 인버터에 3.5 kW를 할당하므로 인버터 효율은 84%로 동일하게 된다. 그림 5(c)는 발전 전력이 17 kW인 경우로 병렬구동에서는 여섯 대의 인버터에 2.8 kW가 할당되어 81.32%의 인버터 평균 효율을 보이며, MEPT에서는 세 대의 인버터에 3.5 kW, 한 대의 인버터에 3 kW를 할당하며 나머지 한 대는 동작을 중지 시키게 되어 인버터 평균 효율은 83.60%가 되어 2.28% 정도의 효율이 개선된 상태에서 운전이 가능하게 된다.

4. 결 론

본 논문에서는 대용량의 계통연계형 태양광발전시스템의 효율 개선을 위한 최대효율점 추종 제어 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 PV 어레이로부터 생산되는 전체 전력을 소니터링 하여 최대 효율 조건에서 동작할 수 있도록 구동시킬 인버터 수와 각 인버터가 담당할 전력량을 결정하고 이에 따른 태양전지의 직병렬 결합 조건이 가능하도록 태양전지의 배열을 릴레이 접점으로 재구성하는 방식이다. 제안된 알고리즘의 타당성 검증을 위해 LabVIEW 기반의 제어시스템을 구성하고 분석하여 효율 개선이 가능함을 검증하였다.

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2010-0009504)

[참 고 문 헌]

[1] J. T. Bialasiewicz, "Renewable Energy Systems With Photovoltaic Power Generators: Operation and Modeling," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 7, pp. 2752-2758, 2008.
 [2] Rong-Jong Wai, and Wen-Hung Wang, "Grid-Connected Photovoltaic Generation System," *IEEE Trans. Circuits and Systems I*, vol. 55, no. 3, pp. 953-964, 2008.